

フォトニック結晶レーザの高出力・短パルス動作の解析 —電極形状の設計—

Analysis of high-power short-pulse operation of photonic-crystal lasers —Design of electrode shape—

京大院工¹, K-CONNEX² ○森田遼平¹, 井上卓也^{1,2}, 田中良典¹, 野田進¹

Kyoto Univ.¹, K-CONNEX² R. Morita¹, T. Inoue^{1,2}, Y. Tanaka¹, S. Noda¹

E-mail: moritar@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【序】 フォトニック結晶レーザ(PCSEL)は、バンド端共振効果をもつ2次元フォトニック結晶をレーザ共振器として利用した半導体レーザである^{1,2)}。前回、我々はPCSELの短パルス・高ピーク出力動作の実現に向けて、利得領域と吸収領域を有する構造を提案し、光子が一様に分布する理想的な場合を仮定して、レート方程式による解析を行った³⁾。今回、3次元結合波理論による空間光子分布を考慮した過渡応答解析⁴⁾において、利得領域と吸収領域の空間配置を決める電極形状を工夫することで、ピーク出力~30Wの高出力自励パルス発振を実現可能であることを見出したので報告する。

【解析構造】 検討したPCSELの電極形状の模式図と各場合における基本モードの共振器内の光子密度分布をFig. 1に示す。図中の ρ は吸収領域に分布する光子の割合を示す。ただし、フォトニック結晶の空孔形状は光が大面積に分布する楕円ダブルホール構造⁵⁾を仮定した。これらの電極は、電流を注入する利得領域(橙色)の内部にキャリア引き抜きを行う可飽和吸収領域(水色)が存在し、基本モードの光子密度が大きい領域で可飽和吸収効果が生じるため、高出力な自励パルス発振が得られることが期待される。なお、電極(b)は(a)よりも可飽和吸収領域の面積を拡大し、吸収領域に分布する光子割合 ρ を増加させた形状である。

【解析結果】 上記の2種類の電極と、内部に吸収領域を持たない円形電極(直径300 μm)の3種類の電極形状における、レーザ発振時のピーク出力の注入電流依存性の計算結果をFig. 2に示す。ただし、自励パルス発振が得られる場合を黒丸で、CW発振となる場合を白丸で示す。円形電極の場合は常にCW発振となるが、電極(a)では1.4A以下の注入電流において自励パルス発振が得られる。また、電極(b)では、吸収領域に存在する光の割合が大きいことに起因して、注入電流をさらに増加させた場合も自励パルス発振が持続し、最大でピーク出力30Wのパルスが得られる。このとき($I_g = 2.5\text{ A}$)の過渡応答特性をFig. 3に示す。パルス幅23 ps, ピーク出力30 W, 平均出力1.2 Wの自励パルス発振を実現できることが明らかとなった。詳細な電極形状の設計は当日発表する。なお、本研究の一部はNEDOの支援を受けた。

【文献】 1) M. Imada et al., Appl. Phys. Lett. 75, 316 (1999). 2) K. Hirose et al., Nature Photon. 8, 406 (2014). 3) 森田他, 2017 春応物 14p-P7-3. 4) 井上他, 2017 春応物 15a-E205-6. 5) 井上他, 本応物.

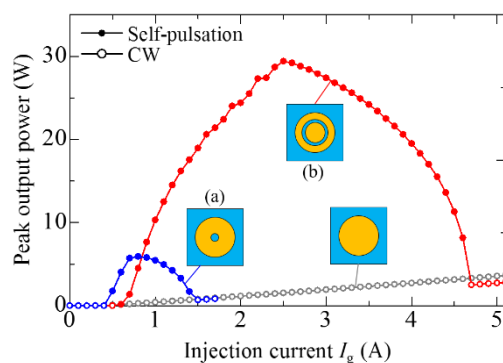


Fig. 2. Peak output power of the PCSELs with various electrodes as a function of injection current into the gain section.

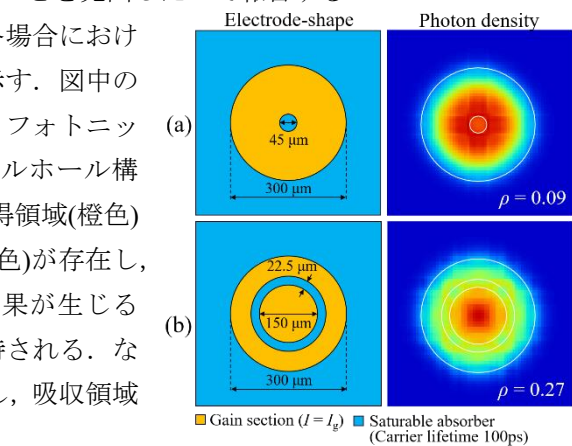


Fig. 1. Schematic diagrams of the electrodes of PCSELs and the photon density of the fundamental mode, where ρ is the photon ratio in the absorber section.

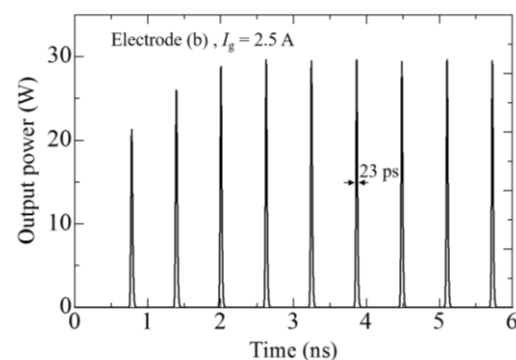


Fig. 3. Transient response of the PCSEL with the proposed electrode shown in Fig. 1(b) in the case of the maximal peak power.